

August 22, 2001  
15042.5-01129-58

L4 ANSWER 1 OF 1 WPINDEX COPYRIGHT 2001 DERWENT INFORMATION.LTD  
AN 1999-073022 [07] WPINDEX  
DNN N1999-053546 DNC C1999-021902  
TI Determination of dust concentration in gas stream - comprises use of probe  
that uses effects of electricity generated by rubbing action of dust.  
DC J04 S02 S03  
IN FOEDISCH, H; FOEDISCH, H D  
PA (FOED-N) FOEDISCH UMWELTMESSTECHNIK GMBH  
CYC 25  
PI EP 890834 A2 19990113 (199907)\* DE 14p G01N027-60 <--  
R: AL AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LT LU LV MC MK NL PT  
RO SE SI  
DE 19729144 A1 19990204 (199911) G01N015-06  
DE 19729144 C2 20010222 (200111) G01N015-06  
ADT EP 890834 A2 EP 1998-112433 19980704; DE 19729144 A1 DE 1997-19729144  
19970708; DE 19729144 C2 DE 1997-19729144 19970708  
PRAI DE 1997-19729144 19970708  
IC ICM G01N015-06; G01N027-60  
ICS G01F001-704; G01P005-08  
AB EP 890834 A UPAB: 19990217  
Continuous determination of the concentration of dust in a gas stream  
comprises coupling the effects of electricity generated by the rubbing of  
the dust against a probe and the gas speed, as determined by differential  
pressure and temperature measurements. The physical correctness and  
plausibility of the signals, as well as the offsets, are monitored before  
the signals from the dust sensors are used to determine the concentration.  
Also claimed is the probe used for the above process.  
USE - The process is for the determination of dust concentration in a  
gas stream.  
ADVANTAGE - Compared with prior art the instrument is inexpensive to  
build and to run, requires little cleaning and other maintenance, whilst  
providing highly accurate results.  
Dwg.2/8  
FS CPI EPI  
FA AB; GI  
MC CPI: J04-C02  
EPI: S02-C01B7; S02-F04C1; S03-E10C; S03-F06A

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

①2 Offenlegungsschrift  
①0 DE 197 29 144 A 1  
(= EP 0 890 534 A2)

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 N 15/06  
G 01 F 1/704  
G 01 P 5/08

②1 Aktenzeichen: 197 29 144.9  
②2 Anmeldetag: 8. 7. 97  
④3 Offenlegungstag: 4. 2. 99

Vorlage	Ablage	01014
Haupttermin		
Eing.: 15. SEP. 1999		
PA. Dr. Peter Riebling		
Bearb.:	Vorgelegt.	

⑦1 Anmelder:  
Dr. Födisch Umweltmeßtechnik GmbH, 04420  
Kulkwitz, DE  
⑦4 Vertreter:  
Voigt, W., Ing. Pat.-Ing., Pat.-Anw., 06108 Halle

⑦2 Erfinder:  
Födisch, Holger, Dr., 04347 Leipzig, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

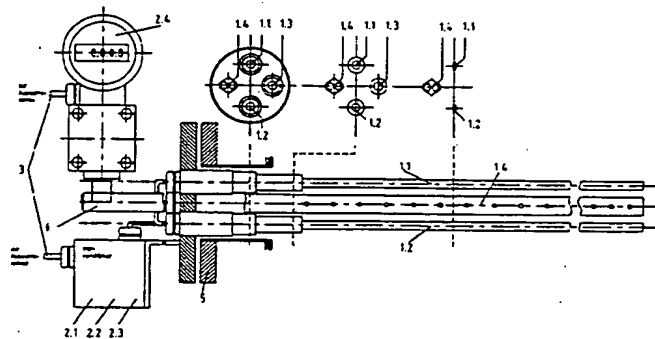
DE 32 22 727 C2  
DE-AS 21 63 045  
DE 195 29 544 A1  
DE 28 54 657 A1  
DD 2 01 507 B1  
AT 3 90 143 B  
GB 20 85 597 A  
US 56 44 241  
US 46 31 482  
US 46 07 228  
WO 94 25 865 A1  
WO 94 23 281 A1  
WO 93 22 653 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Gerätesystem zur kontinuierlichen Ermittlung der Staubkonzentration in strömenden Gasen

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein Gerätesystem zur kontinuierlichen Ermittlung der Staubkonzentration in strömenden Gasen sowie der gleichzeitigen Messung der Gasgeschwindigkeit und der Gastemperatur. Ziel der Erfindung ist ein neuartiges Verfahren und kompaktes Gerätesystem auf der Basis des triboelektrischen Effektes, welches mit einer hohen Genauigkeit und Verfügbarkeit arbeitet, sowie einen geringen Wartungsbedarf hat. Die Staubmessung erfolgt mittels des triboelektrischen Effektes, wobei durch eine Kompensation des Einflusses der Geschwindigkeit die geforderte Genauigkeit erreicht wird. Eine redundante Meßanordnung, eine besondere Sondenform sowie ein spezieller Auswertmechanismus sorgen für eine bisher mit konventionellen Meßverfahren nicht erreichte hohe Verfügbarkeit der Meßsignale. Durch den kompakten Aufbau und eine spezielle Sondenanordnung und -form wird der Aufwand für Herstellung, Montage und insbesondere Wartung minimiert.



gleicher Prinzip: Triboelekt. Messung  
 $i(t) \sim c(t)$

gleichzeitige Messung von  $v$  und  $T(t)$

2588

DE 197 29 144 A 1

DE 197 29 144 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur kontinuierlichen Ermittlung der Staubkonzentration auf der Grundlage des triboelektrischen Effektes. Die Erfindung betrifft weiterhin ein entsprechendes Gerätesystem unter Verwendung von triboelektrischen Sensoren und einer Auswerteinheit für die Signale. Die kontinuierliche Ermittlung der Staubkonzentration in strömenden Gasen erfolgt insbesondere zur Reingasüberwachung von Schlauchfiltern und anderen Staubabscheidern. Das Verfahren und das entsprechende Gerätesystem ist in nahezu allen Zweigen von Industrie und Technik anwendbar, in denen staubbeladene Gase auftreten.

Zur kontinuierlichen Ermittlung der Staubkonzentration in strömenden Gasen ist eine große Anzahl von Gerätekonfigurationen bekannt, denen unterschiedliche Meßprinzipien zu Grunde liegen. In der Praxis haben sich vor allem optische Meßverfahren, die auf der Basis der Transmission oder der Streuung des Lichtes beruhen, durchgesetzt. Weiterhin sind Verfahren bekannt, die die Absorption ausgesandter  $\beta$ -Strahlen als Maß für den Staubmassenstrom bestimmen. Die Messung des Staubgehaltes erfolgt dabei direkt im staubbeladenen Strom (in-situ), oder es wird ein Teilstrom abgezogen und danach vermessen (extraktiv).

Die optischen Meßverfahren sind konstruktiv äußerst aufwendig, und verursachen damit in Herstellung, Betrieb und Wartung hohe Kosten. Der Abgleich des Null- und Referenzpunktes erfolgt durch mechanisch eingeschwenkte Referenzmaterialien, damit erhöht sich die Ausfallwahrscheinlichkeit bzw. der konstruktive Aufwand. Die Reinigung der mit dem Staub in Berührung kommenden Teile erfolgt mittels einer Hilfsenergie.

Die radiometrischen Verfahren weisen auf Grund der zu verwendenden radioaktiven Isotope, und den damit verbundenen Aufwendungen, neben der aufwendigen Konstruktion und den hohen Betriebskosten einen weiteren Nachteil auf.

Neben den oben angeführten kommerziell genutzten Prinzipien existiert eine Vielzahl weiterer Meßprinzipien, die kaum oder nur in begrenztem Umfang zur kontinuierlichen Messung des Staubgehaltes genutzt werden bzw. bisher nicht genutzt werden konnten.

Ein bisher nur für die qualitative Überwachung des Staubgehaltes genutztes Verfahren ist das kontakt- bzw. reibungselektrische oder triboelektrische Meßverfahren. Mit diesem Verfahren wird das Auftreten von Teilchen in einer Strömung gemessen. Eine relative Zuordnung der Teilchenkonzentration ist realisierbar, jedoch ist eine genaue Zuordnung des Meßsignals zur Staubkonzentration nur in Fällen konstanter Geschwindigkeit möglich.

So beschreiben WO 94/25865, WO 94/23281 und WO 93/22653 Meßgeräte, die die Konzentration bzw. den Massenstrom fester Partikel in Gasen detektieren. Diese Geräte berücksichtigen jedoch nicht den Einfluß der Fluidgeschwindigkeit auf die Höhe des triboelektrischen Meßsignals. In US 4607228 wird der Einfluß der Geschwindigkeit durch eine Teilgasentnahme mit konstanter Geschwindigkeit gelöst.

Die Nutzung der Triboelektrizität zur Staubkonzentrationsmessung ist ohne Korrektur des Geschwindigkeitseinflusses nicht möglich.

Ein weiterer Nachteil bisheriger triboelektrischer Meßverfahren ist die rasche Verschmutzung der Sonden. Diese müssen entweder gespült oder anderweitig regelmäßig gereinigt werden.

Unter Beachtung der bisherigen Ausführungen ist es daher die Aufgabe der Erfindung, ausgehend vom triboelektrischen Meßprinzip ein Verfahren und ein Gerätesystem vorzuschlagen, welches mit hoher Genauigkeit und Verfügbarkeit arbeitet. Durch eine einfache kompakte Konstruktion soll der Aufwand für Herstellung, Montage, Betrieb, Wartung und Platzbedarf erheblich unter denen herkömmlicher Staubmeßgeräte liegen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe wie folgt gelöst, wobei hinsichtlich der grundlegenden Gedanken die das neue Verfahren zur kontinuierlichen Ermittlung der Staubkonzentration in strömenden Gasen betreffen, auf den Patentanspruch 1 und bei der weiteren Ausgestaltung des Verfahrens auf die Patentansprüche 2 bis 4 verwiesen wird. Die grundlegenden neuen Gedanken, die das Gerätesystem betreffen, ergeben sich aus dem Patentanspruch 5, und eine weitere Ergänzung zum Gerätesystem ergibt sich aus den Patentansprüchen 5 bis 8. Wie aus dem 1. Patentanspruch ersichtlich ist, erfolgt eine Kopplung von triboelektrischem Meßprinzip und Geschwindigkeitsmessung. Durch redundante Anordnung der triboelektrischen Meßsonden wird die Verfügbarkeit des Gerätesystems erhöht und eine wirksame Fehlerüberwachung geschaffen.

Das Gerät besteht im wesentlichen aus einer Sonde und einer Auswerteinheit. Die komplette Bauweise und konstruktive Gestaltung ermöglicht den Einbau der Sonde in einen Flansch NW 80.

Die Sonde besteht aus zwei Sensoren zur Aufnahme des Staubsignals, einem Sensor zum Nullpunktgleich und einer Staudrucksonde mit integriertem Temperaturnaßnehmer zur Ermittlung der Geschwindigkeit und der Temperatur. Im Sondenkopf sind Vorverstärker für die Aufnahme des Staubsignals, ein Drucktransmitter und die Temperatursauswertung integriert.

Die Aufnahme des Staubsignals erfolgt mittels des triboelektrischen Effektes. Zwei elektrisch isoliert angeordnete Metallstäbe werden in den staubbeladenen Gasstrom eingeführt. Mit diesen Stäben kollidierende und an den Stäben reibende Partikel erzeugen eine Aufladung der Metallstäbe.

Die Staubsensoren können mit unterschiedlichen Längen ausgeführt werden. Dadurch ergibt sich neben dem Umschalten verschiedener Meßbereiche durch verschiedene elektronische Verstärkungsstufen die Möglichkeit der Meßbereichsumschaltung durch verschieden große Sensoroberflächen.

Die Drift der elektronischen Schaltung durch verschiedene Umgebungstemperaturen wird durch eine integrierte Temperaturkompensation unterdrückt. Die Drift der elektronischen Schaltung durch andere Einflüsse, wie Alterung der Bauteile usw. wird jedoch damit nicht unterbunden. Dieses erfolgt mittels automatischem Abgleich des Null- und Referenzpunktes im Vorverstärker. Für den Nullpunktgleich wird der Staubsensor periodisch elektronisch vom Vorverstärker getrennt und auf den Nullpunktsensor geschaltet. Der Nullpunktgleich kann ebenfalls nur durch elektronisches Trennen des Staubsensors vom Vorverstärker erfolgen. Für den Referenzpunktgleich wird die elektronische Schaltung mit einem definierten Signal beaufschlagt. Damit wird erreicht, daß eine eventuell auftretende Drift der elektronischen Schaltung vollständig kompensiert wird.

Die Erfindung soll nunmehr anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert werden.

Die Figuren zeigen:

Fig. 1 Prinzipschaltbild des triboelektrischen Gerätesystems

Fig. 2 Sonde, teilweise Schnittdarstellung

Fig. 3 Anordnung der Sensoren

Fig. 4 Darstellung eines triboelektrischen Trapezsensors

Fig. 5 Umströmung der Sensoren

Fig. 6 Blockschaltbild der elektronischen Schaltung

Fig. 7 Ablaufplan für die Signalauswertung

Fig. 8 Ablaufplan für die Fehlerauswertung der Sensorsignale "Staub".

Hinsichtlich der verwendeten Bezugszeichen wird auf das beigefügte Blatt mit der Bezugszeichenaufstellung verwiesen. 10

In Fig. 1 ist das Prinzipschaltbild des Gerätesystems abgebildet.

Das Gerätesystem besteht aus der eigentlichen Sonde 1 mit dem Sondenkopf 2 und der Auswerteinheit 4. Die Sonde 1 besteht aus vier Sensoren, zwei Staubsensoren 1.1, 1.2, dem Nullpunktsensor 1.3 für das Staubsignal und der Staudrucksonde 1.4 mit integriertem Temperatursensor. Die Signale der Staubsensoren 1.1, 1.2 und des Nullpunktsensors 1.3 werden im Sondenkopf 2 durch Verstärker 2.1 2.2, 2.3 weiterverarbeitet. Der Differenzdruck wird durch einen Drucktransmitter 2.4 aufgenommen. Das Signal des Temperatursensors wird im Umformer 2.5 umgewandelt. 15

Die Signale werden zu einer Auswerteinheit 4 weitergeleitet. In der Auswerteinheit 4 befindet sich der Mikro-Controller 4.1 zur Abarbeitung des Algorithmus für die Bestimmung des Staubgehaltes. Die Ausgabe erfolgt über ein Display 4.2, Signalausgänge 4... 20 mA – Positionszeichen 4.4 – und über eine serielle Schnittstelle 4.5. Diskrete Vorgänge (Grenzwertüberschreitung, Wartungsbedarf) können über Schaltausgänge 4.6 ausgegeben werden. Zur Berechnung nötige Größen, Wartungsbestätigungen und Abgleichaufforderungen, können sowohl über Tastatur 4.3 als auch über die serielle Schnittstelle 4.5 eingegeben werden. 20

Die Fig. 2 zeigt im wesentlichen den konstruktiven Aufbau der Sonde 1.

Die Sensoren (1.1 bis 1.4) sind alle auf einem Flansch 5 montiert. Die Nennweite des Flansches kann beispielsweise 80 mm betragen. Die Staubsensoren 1.1, 1.2 und der Nullpunktsensor 1.3 sind mit geschirmten Kabeln mit dem Vorverstärker (2.1, 2.2, 2.3) für die jeweiligen Signale verbunden. Zur optimalen Platzausnutzung werden die einzelnen Sensoren (1.1 bis 1.4) in etwa auf einem Kreis angeordnet (siehe angedeutete Schnitte über der Sonde in Prinzipdarstellung bzw. Fig. 3). Der Drucktransmitter 2.4 ist direkt an der Geschwindigkeitsmeßeinrichtung 6 angeflanscht. Die Sonde 1 kann über einen Anschweißflansch 5 direkt an der Rohrleitung bzw. am Kanal montiert werden. 25

Die Staubsensoren sind in Strömungsrichtung nach der Staudrucksonde 1.4, die Bestandteil der Geschwindigkeitsmeßeinrichtung 6 ist, angeordnet. Das hat den Vorteil, daß die Volumenströmmessung nicht durch andere Bauteile beeinflusst wird. Diese Anordnung wurde aufgrund der nötigen Vergleichbarkeit der Signale gewählt. 30

Die Sensoren 1.1, 1.2 liegen in der gleichen Strömungsebene, beeinflussen sich also nicht gegeneinander und haben bei gleicher Umströmung und gleicher Sondenlänge die gleichen Signale. 35

Auch eine Beeinflussung durch die Geschwindigkeitsmeßeinrichtung 6 ist ausgeschlossen, da sichergestellt wurde, daß die Staubsensoren 1.1, 1.2 links und rechts des jeweiligen Nachlaufgebietes liegen. In diesem Zusammenhang wird auf die Fig. 5 verwiesen.

Der Nullpunktsensor 1.3 liegt hinter der Geschwindigkeitsmeßeinrichtung. Da er keine der Strömung entgegenwirkende Fläche hat, beeinflusst die Nachlaufströmung der Geschwindigkeitsmeßeinrichtung 6 das Nullpunktsignal nicht. Es besteht also nur elektrischer Kontakt zum Gasstrom, ein triboelektrisches Signal, verursacht durch aufprallende Partikel, ist ausgeschlossen. 40

Der Nullpunktsensor 1.3 ist in Anschluß und Montage identisch mit den Staubsensoren.

Die Länge der Staubsensoren 1.1, 1.2 kann dem jeweiligen Einsatzort angepaßt werden. Über die Länge der Sensoren kann man die jeweilige, für die Meßaufgabe optimale, Oberfläche anpassen. Im allgemeinen werden die Sensoren 1.1, 1.2 mit gleicher Länge in etwa im Durchmesser des Rohres gefertigt. 45

Das Profil eines Staubsensors 1.1 oder 1.2 ist in Fig. 4 dargestellt. Der Winkel  $\alpha$  beträgt 15 bis 45° und das Verhältnis  $a : b = 0,1$  bis 0,5. Bei dem Trapezprofil ist zu beachten, daß sich durch den konstruktiven Aufbau bedingt, der Sensor selber reinigt. Dieser Reinigungseffekt läßt sich durch die an den Kanten auftretenden Wirbel zurückführen, die die Staubpartikel mitreißen und somit einen Schmutzbelag an der Sondenoberfläche verhindern. Im Gegensatz zu Rundstäben, wo die Wirbel in einer etwa durchmessergleichen "forming zone" gebildet werden, sind die Wirbel des Trapezsensors sofort hinter dem Profil ausgebildet. Sie besitzen damit eine höhere Energie in Sensornähe und verhindern so die Verschmutzung der Oberfläche. 50

Fig. 6 zeigt das Blockschaltbild der elektronischen Schaltung für einen triboelektrischen Sensor 1.1 oder 1.2 bzw. den Nullpunktsensor 1.3. Über ein geschirmtes Kabel 3 wird das triboelektrische Sensorsignal in den Sondenkopf zu einer vom Mikro-Controller 4.1 gesteuerten Aufschaltung des Nullpunktes 7.1 geleitet. Hier wird das Sensorsignal zum Nullpunktabgleich elektronisch von der Schaltung getrennt und ein Nullpunktsignal aufgeschaltet. Danach erfolgt eine wesentliche Anhebung des Signalpegels durch einen Strom-Spannungs-Wandler mit T-Rückkopplungsnetzwerk 7.2. In einem Trennverstärker 7.3 wird das Signal galvanisch von der nachfolgenden Verarbeitung getrennt. Ein weiterer Verstärker 7.4 fungiert als Leitungstreiber, dabei erfolgt eine zusätzliche Signalerhöhung um Übertragungsfehler physikalischer Art im Verbindungskabel zur Auswerteeinheit auszuschließen. 55

In der Auswerteeinheit erfolgt zunächst eine Leitungsanpassung und erste Störsignalunterdrückung 7.5. Danach wird das Signal durch einen beim Abgleich des Nullpunktes ermittelten Offset korrigiert 7.6. Im Verstärker 7.7 erfolgt eine weitere Erhöhung des Signals. Durch periodisches Aufschalten des in 7.8 generierten Referenzsignals wird ein Referenzabgleich durchgeführt. Danach wird der Rauschanteil des Staubsignals durch einen Tiefpaßfilter 7.9 unterdrückt. In einem durch den Mikro-Controller 4.1 gesteuerten Umschalter 7.10 kann zwischen vier Meßbereichen gewählt werden. Da am Sensor durch die Staubteilchen hervorgerufene negative bzw. positive Ströme auftreten, wird das Signal in einem Präzisionsgleichrichter 7.11 gleichgerichtet. In einer Integrationsstufe 7.12 wird das Signal geglättet und für die Verar- 65

beutung im Controller 4.1 durch einen weiteren Verstärker 7.13 angepaßt.

Die Berechnung des Staubgehaltes erfolgt nach Fig. 7. Die Signale des Staubgehaltes, Differenzdruck und Temperatur werden zuerst auf ihre Korrektheit geprüft. Das bedeutet, daß geprüft wird: Liegt das Signal innerhalb des Meßbereiches? Hat das Signal, im Gegensatz zu den anderen Signalen eine sprunghafte Änderung erfahren? usw. In regelmäßigen Abständen erfolgt ein Null- und Referenzpunktgleich. Für diese Zeit wird die Auswertung des Fehler- und Wartungszustands ausgesetzt.

Die Auswertung des Wartungs- und Fehlerzustandes der Staubsignale erfolgt nach Fig. 8. In einer ersten Stufe wird die physikalische Korrektheit des Signals untersucht. Das bedeutet:

- 10     - Signal vorhanden?
- Signal im Meßbereich?
- Signalanstieg im erlaubten Bereich?

In einer zweiten Stufe wird die Plausibilität des Signals geprüft:

- 15     - Wie entwickelt sich die Differenz der beiden Sensorsignale?
- Übersteigt die Differenz der beiden Sensorsignale einen bestimmten Wert?
- Übersteigt der Anstieg der Differenz der beiden Sensorsignale einen bestimmten Wert?

20     In einer dritten Stufe werden die Offsets des Null- und Referenzpunktgleichs, also die Drift der elektronischen Schaltung und der Meßwertaufnehmer untersucht:

- Übersteigt der Offset einen bestimmten Wert?
- Übersteigt der Anstieg des Offsets einen bestimmten Wert?

25     Ist das Signal in Ordnung, wird es zur Verrechnung freigegeben. Ist ein Fehler aufgetreten, wird das Signal durch einen Mittelwert ersetzt, bis der Fehler behoben ist, oder nicht mehr auftritt, hierbei bleibt die Fehlermeldung erhalten.

Nach der Fehlerauswertung wird der Staubgehalt aus den vier Sensorsignalen gebildet. Zuerst wird aus den beiden Staubsignalen ein gewichteter Mittelwert nach Gleichung 1 gebildet, die Konstanten a und b werden in Abhängigkeit z. B. von der Sondenlänge und dem im Kanal herrschenden Strömungsregime gebildet. Die Geschwindigkeit wird mit Hilfe des Differenzdrucks nach Gleichung 3 berechnet.

30     Aus der berechneten Geschwindigkeit und dem verrechneten triboelektrischen Signal läßt sich nun der Staubgehalt bestimmen. Theoretisch ist das triboelektrische Signal von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. So spielen die Art des Staubes (Korngröße, Kornform und elektrische Eigenschaften) und die verfahrenstechnischen Randbedingungen (Geschwindigkeit, Temperatur und Gaszusammensetzung) eine große Rolle.

35     Experimentelle Untersuchungen haben ergeben, daß das triboelektrische Signal einer Staubart im wesentlichen von der Staubkonzentration und der Geschwindigkeit abhängt. Andere Faktoren sind entweder nicht relevant (Temperatur, Gaszusammensetzung) oder variieren für die jeweilige Meßaufgabe in nicht beeinflussenden Bereichen (Korngröße, Kornform und elektrische Eigenschaften). Experimentelle Untersuchungen haben ein Verhalten des triboelektrischen Signals linear vom Staubgehalt und potentiell von der Geschwindigkeit ergeben.

40     Damit kann der Staubgehalt im Betriebszustand nach Gleichung 4 berechnet werden. Die Konstanten a, b und c dieser Gleichung müssen durch eine Kalibrierung des Meßgerätes gefunden werden. Für die Ausgabe an ein Meßwertersassungssystem wird die Staubkonzentration im allgemeinen im Normzustand angegeben. Die Umrechnung erfolgt mit der Gastemperatur, dem Druck im Kanal und der Gasfeuchte nach der Berechnungsvorschrift in der VDI/VDE 2040.

45

50

55

60

65

## Gleichungen

$$I_{\text{Staub}} = a \cdot I_{\text{Staub}_1} + b \cdot I_{\text{Staub}_2} \quad (1)$$

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T} \frac{p}{p_0} \quad (2) \quad 5$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\xi \cdot \rho}} \quad (3) \quad 10$$

$$C_{\text{Staub}} = a \cdot I_{\text{Staub}} \cdot v^b + c \quad (4)$$

a, b, c	-	allgemeine Konstanten	15
I	mA	allgemeines Signal	
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Dichte	
$\xi$	-	Widerstandsbeiwert	
$\Delta p$	Pa	Differenzdruck Sonde	20
T	K	Temperatur	
p	Pa	Druck	
$C_{\text{Staub}}$	g/m <sup>3</sup>	Staubkonzentration i.B.	25

## Bezugszeichenliste

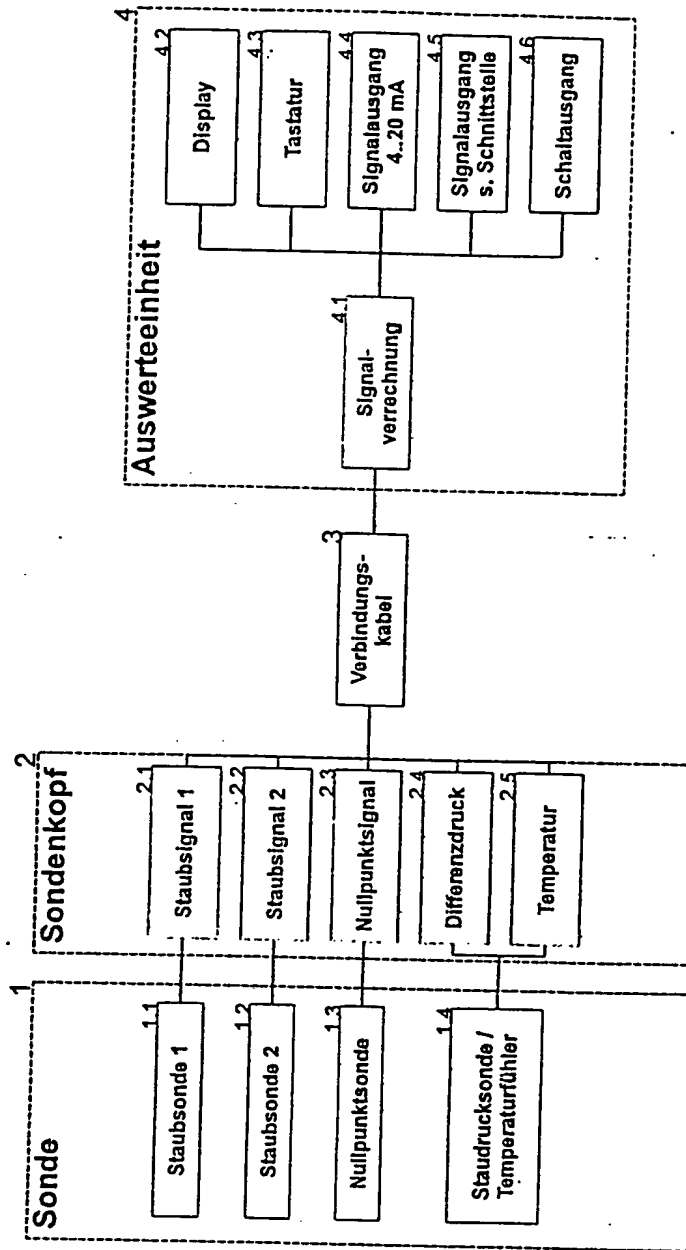
1 Sonde	30
1.1 Staubsensor	
1.2 Staubsensor	
1.3 Nullpunktsensor	
1.4 Staudrucksonde mit integriertem Temperatursensor, angeordnet in einem Staurohr	
2 Sondenkopf	35
2.1 Vorverstärker für Staubsignal	
2.2 Vorverstärker für Staubsignal	
2.3 Vorverstärker für Nullpunktsignal	
2.4 Drucktransmitter für Differenzdruck	
2.5 Umformer für Signal des Temperatursensors	40
3 Verbindungskabel zum Mikro-Controller	
4 Auswerteinheit	
4.1 Mikro-Controller	
4.2 Display	
4.3 Tastatur	45
4.4 Signalausgänge	
4.5 Serielle Schnittstelle	
4.6 Schaltungsausgang	
5 Anschweißflansch	
6 Geschwindigkeitsmeßeinrichtung	50
7 Elektronische Schaltung mit den Baugruppen	
7.1 Aufschaltung des Nullpunktes (Baugruppen im Sondenkopf 2)	
7.2 Rückkopplungsnetzwerk (Baugruppen im Sondenkopf 2)	
7.3 Trennverstärker – Signal wird galvanisch von der nachfolgenden Verarbeitung getrennt (Baugruppen im Sondenkopf 2)	55
7.4 Trennverstärker als Leitungstreiber (Baugruppen im Sondenkopf 2)	
7.5 Störsignalunterdrückung (Baugruppen in der Auswerteinheit 4)	
7.6 Offsetkorrektur (Baugruppen in der Auswerteinheit 4)	
7.7 Verstärker für weitere Signalerhöhung (Baugruppen in der Auswerteinheit 4)	
7.8 Referenzbildung (Baugruppen in der Auswerteinheit 4)	60
7.9 Tiefpaßfilter (Baugruppen in der Auswerteinheit 4)	
7.10 Umschalter (Baugruppen in der Auswerteinheit 4)	
7.11 Präzisionsgleichrichter (Baugruppen in der Auswerteinheit 4)	
7.12 Integrationsstufe (Baugruppen in der Auswerteinheit 4)	
7.13 Signalverstärker für Verarbeitung im Mikro-Controller (Baugruppen in der Auswerteinheit 4)	65

1. Verfahren zur kontinuierlichen Ermittlung der Staubkonzentration in strömenden Gasen auf der Grundlage des triboelektrischen Effektes und Messung der Geschwindigkeit, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Koppelung von triboelektrischem Meßprinzip und Geschwindigkeitsermittlung erfolgt, wobei mit Hilfe des in der Geschwindigkeitsmeßeinrichtung (6) integrierten Temperatursensors die jeweilige Temperatur ermittelt wird, weiterhin der jeweilige Differenzdruck mit Hilfe der Staudrucksonde (1.4) ermittelt wird, weiterhin mit Hilfe der Staubsensoren (1.1, 1.2, 1.3) das jeweilige Staubsignal gemessen und die Funktion des Systems geprüft wird und entsprechend der Temperatur und des Differenzdruckes die jeweilige Geschwindigkeit berechnet und damit aus den Staubsignalen der Staubsensoren (1.1, 1.2,) die jeweilige Staubkonzentration bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwei Staubsensoren (1.1, 1.2) mit trapezförmigem Querschnitt und einer Anströmfläche rechtwinklig zur Strömung über relativ lange Zeit ein gleichbleibend hohes Meßsignal liefern und damit eine Auswertung des Wartungs- und Fehlerzustandes mit Hilfe eines entsprechenden Algorithmus erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Nullpunkt des Gerätesystems elektronisch abgeglichen wird, indem die Staubsensoren (1.1, 1.2) periodisch elektronisch von den Vorverstärkern (2.1, 2.2) getrennt werden und auf den Nullpunktsensor geschaltet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Referenzpunktgleich des Gerätesystems erfolgt, indem die Staubsensoren (1.1, 1.2) elektronisch von den Verstärkern (2.1, 2.2) getrennt werden und das Aufschalten einer Referenzspannung vorgenommen wird.
5. Gerätesystem zur kontinuierlichen Ermittlung der Staubkonzentration in strömenden Gasen unter Verwendung von triboelektrischen Sensoren und Bauteilen zur Geschwindigkeitsmessung **gekennzeichnet durch die redundante** Anordnung von zwei Staubsensoren (1.1, 1.2), einem Nullpunktsensor (1.3) und einer Staudrucksonde (1.4) mit integriertem Temperatursensor, wobei diese Bauteile (1.1 bis 1.4) im Sinne einer Sonde (1), vorzugsweise in einem Flansch (5) platziert sind, zur Weiterleitung der Signale der Staudrucksonde (1.4) eine mechanische Verbindung zwischen der Geschwindigkeitsmeßeinrichtung (6) und dem Drucktransmitter (2.4) besteht, zur Weiterleitung der Signale der Sensoren (1.1, 1.2, 1.3) eine elektrische Verbindung zu den Vorverstärkern (2.1, 2.2, 2.3) besteht und weiterhin ein wesentlicher Bestandteil des Geräte-Systems die Auswerteinheit (4) darstellt.
6. Gerätesystem nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Anordnung der Sensoren (1.1, 1.2, 1.3) und der Staudrucksonde (1.4), die sich in einer Geschwindigkeitsmeßeinrichtung (6) befindet, derartig erfolgt, daß die Staubsensoren (1.1, 1.2) auf gleicher Ebene, bezogen auf den Querschnitt des Rohres mit dem strömenden Gas, angeordnet sind, sich die Geschwindigkeitsmeßeinrichtung (6) vor den Staubsensoren (1.1, 1.2) befindet und der Nullpunktsensor (1.3) in Strömungsrichtung hinter der Geschwindigkeitsmeßeinrichtung (6) angeordnet ist, wobei die Bauteile (1.1, 1.2, 1.3, 1.4) gemäß Fig. 3 vorzugsweise zueinander im Sinne eines auf die Spitze gestellten Quadrates angeordnet sind.
7. Gerätesystem nach Anspruch 5 und 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Staubsensoren (1.1 und 1.2) mit unterschiedlicher Länge ausgeführt sein können.
8. Gerätesystem nach Anspruch 5 und 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Staubsensoren (1.1 und 1.2) im Querschnitt ein scharfkantiges trapezförmiges Profil aufweisen und gemäß Fig. 4 die Anströmung der Staubsensoren (1.1, 1.2) gegeben ist.

---

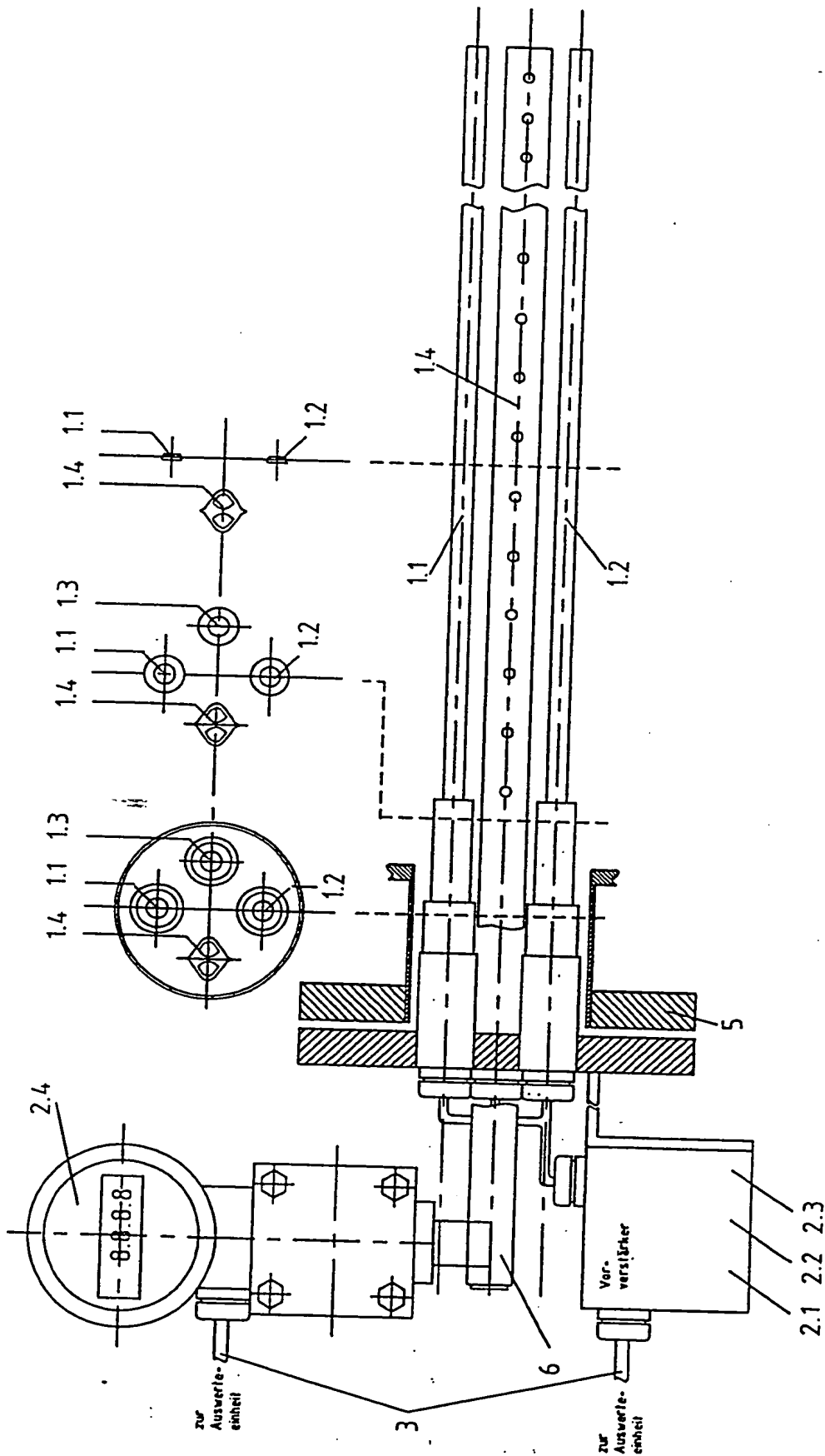
Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

---

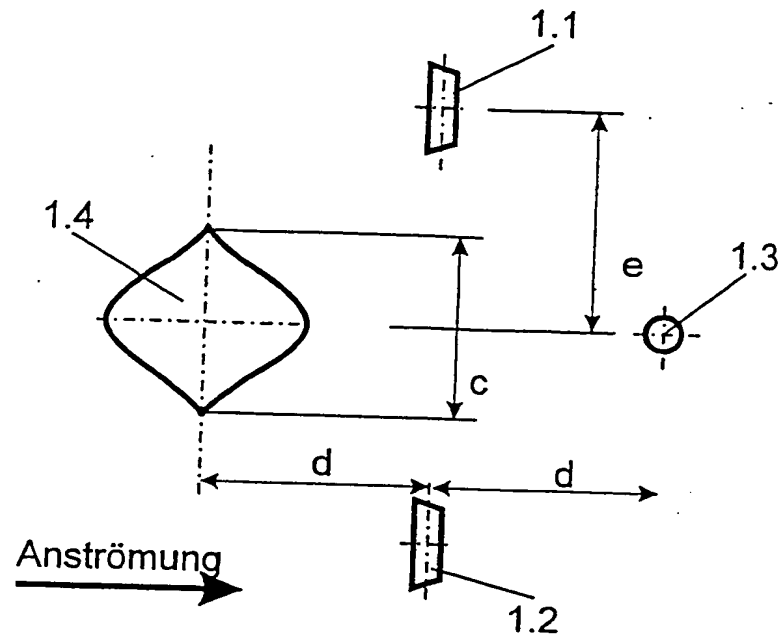


Figur 1

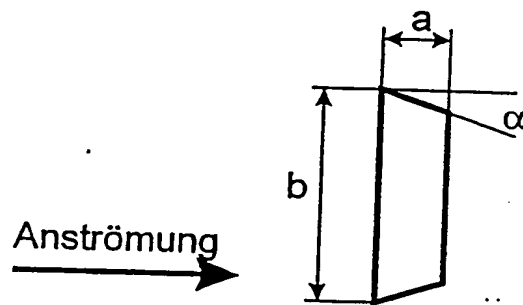




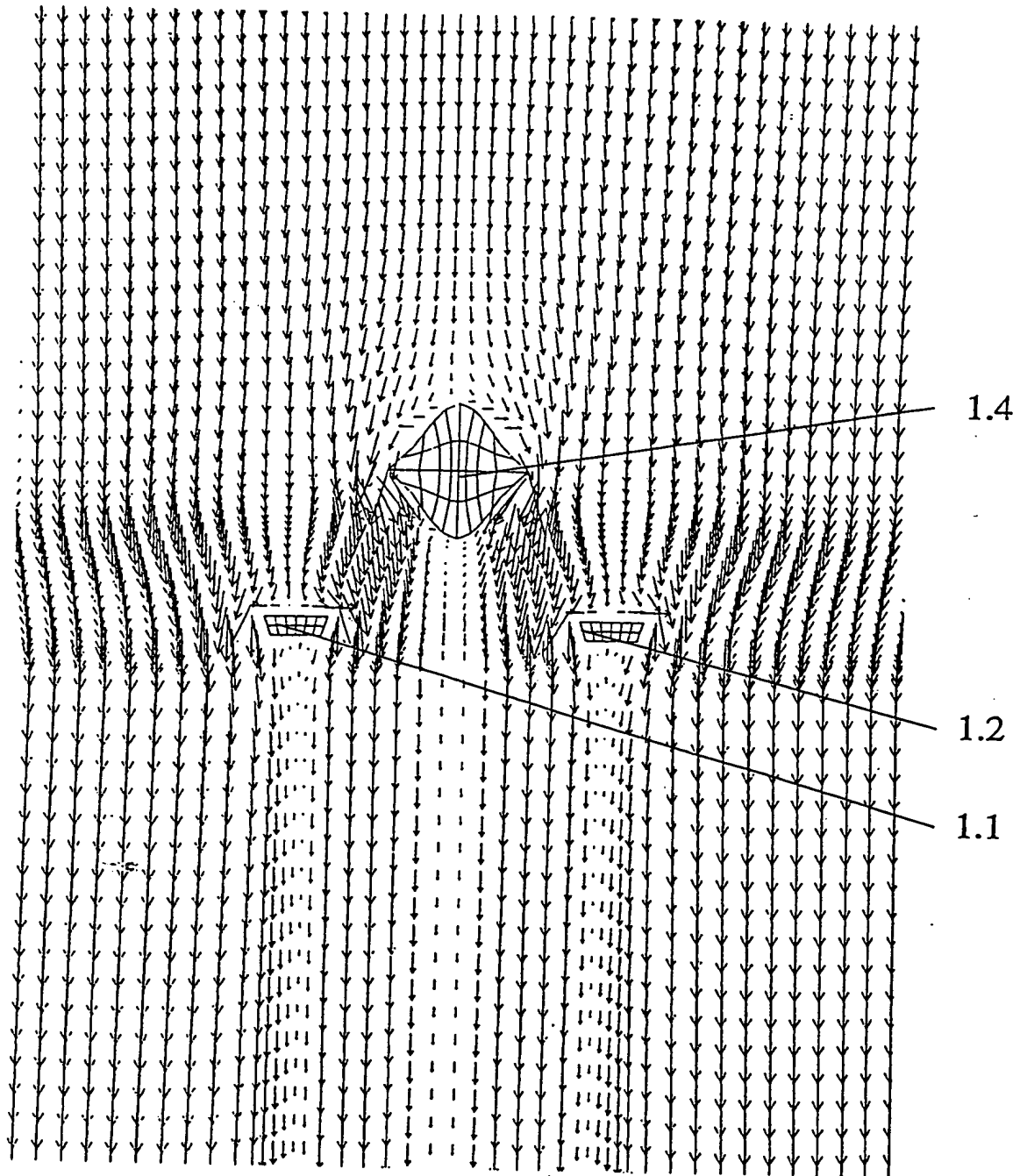
Figur 2



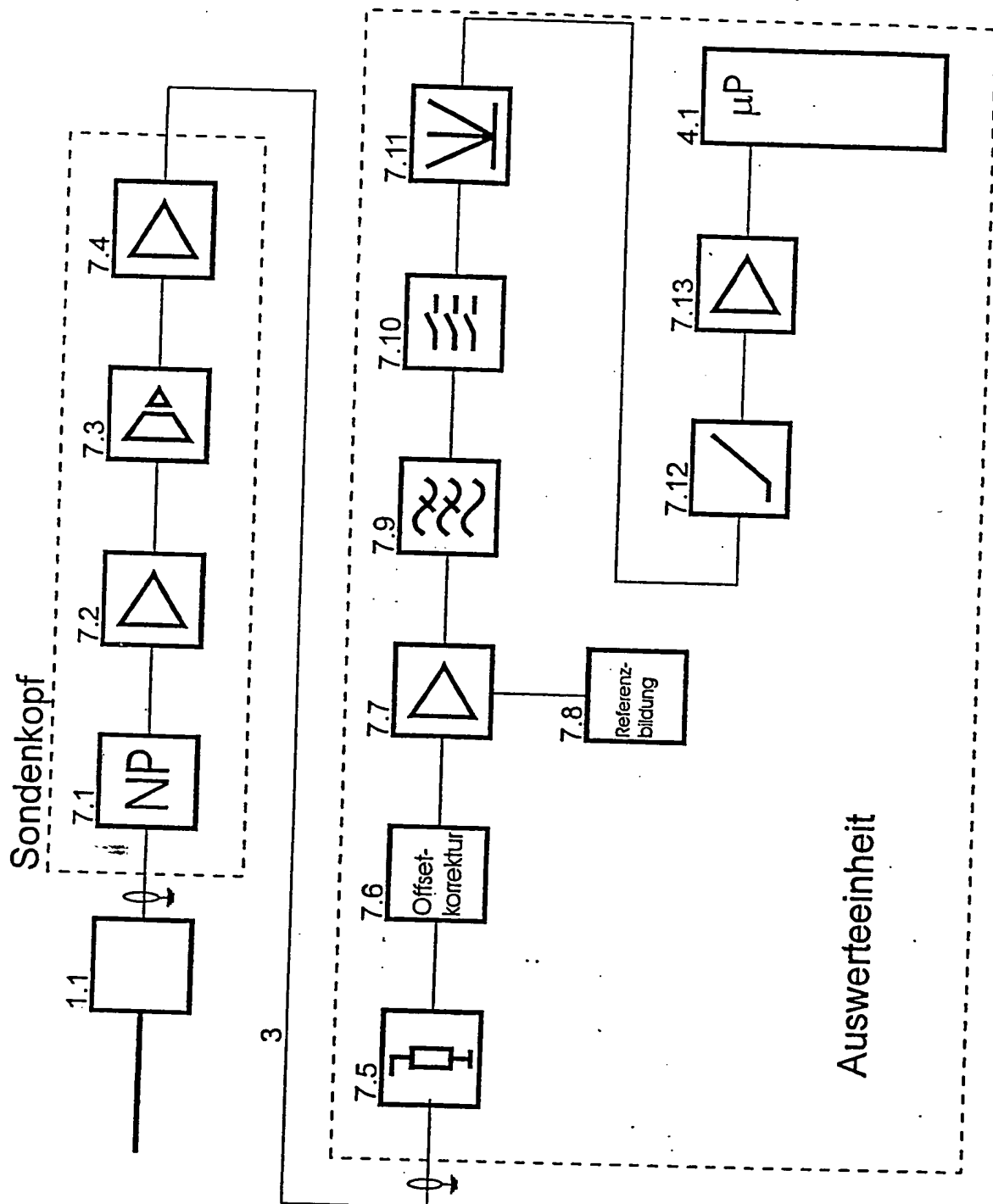
Figur 3



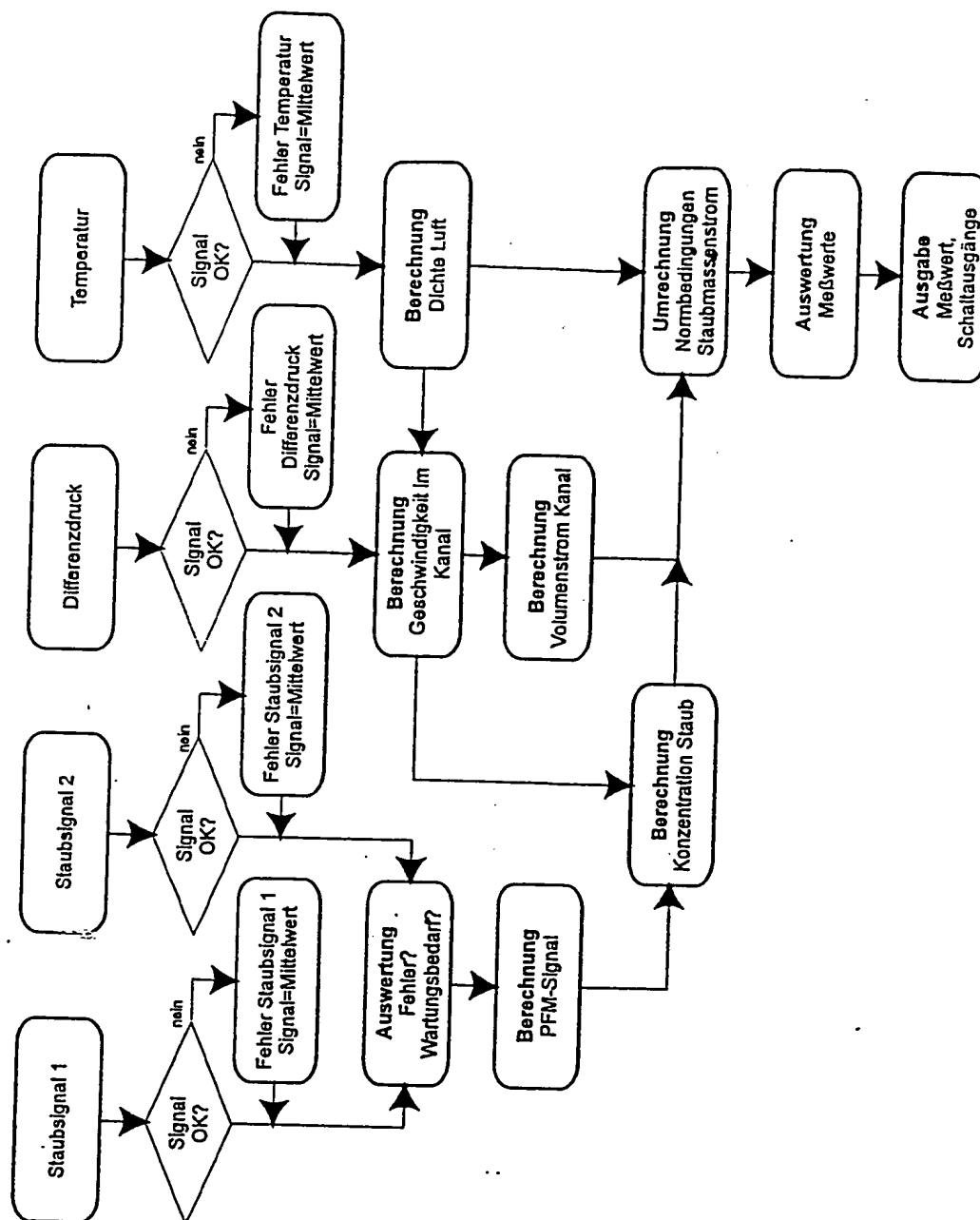
Figur 4



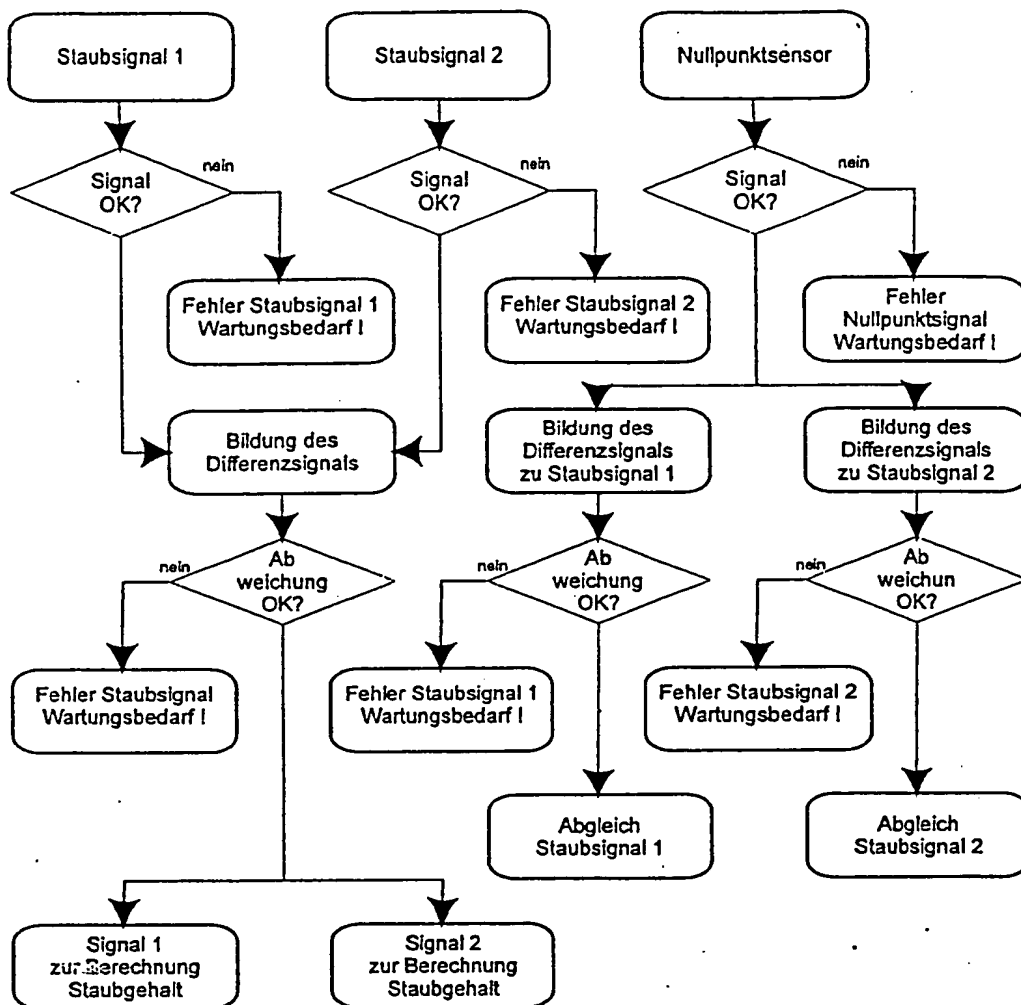
Figur 5



Figur 6



Figur 7



Figur 8